



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Thiago Viana de Freitas

FOGOS DE ARTIFÍCIO – HISTÓRIA, CIÊNCIA E
SOCIEDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF

2.º/2012



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Thiago Viana de Freitas

Fogos de Artifício – História, Ciência e Sociedade

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada(o) em Química.

Orientador: Roberto Ribeiro da Silva

2.º/2012

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus por me proporcionar o dom da vida, a bênção de estudar numa renomada instituição e por me dar de presente todas essas pessoas maravilhosas que vou citar agora.

Obrigado pai (Aluízio) e mãe (Maria Antônia) por me colocarem no mundo, terem cuidado de mim, terem me aturado e me apoiado em tudo. Em todos os momentos da vida que eu mais precisei de vocês, sempre estiveram lá.

Obrigado maninha (Talita) por todos os incentivos, por todos os puxões de orelha, por todas as ajudas nos deveres de casa. Com certeza, sem o seu exemplo não teria chegado tão longe.

Obrigado *Toreba* (Tácita) por me alegrar todos os dias com seu sorriso e me fazer ver que apesar da dureza que temos que enfrentar, sempre vale a pena quando se tem alegria e amor e é isso que você me proporciona.

Obrigado Professor Bob pela orientação, pelo aprendizado que me proporcionou e pela oportunidade de trabalhar com o senhor. Uma honra!

Obrigado a família em geral, primos, tios, agregados. Obrigado por me educarem e me ensinarem as “manhas” da vida.

Obrigado amigos, em especial Biloca (Fernando) e Aninha (Ana Cândido) pelos materiais que me disponibilizaram para a confecção do trabalho, foram muito úteis.

Obrigado Joãozinho (João Victor), Gêmamá (Gecimar) e Talytinha (Talyta) por estarem comigo em toda essa caminhada acadêmica e de monografia.

Obrigado Frutiula (Fábio), Dédé (André), Shima (Felipe), Fred (Frederico), Falco (Rafael), Zé (Bruno Elias) e Biloca (Fernando) de novo, por serem pessoas em que eu posso confiar a tanto tempo e que sempre me apoiaram e tiveram ao meu lado como irmãos que eu nunca tive.

Obrigado Idiofinho (Idio) e Mano Jhon (Jônatas) pela amizade e pelo conhecimento químico que me ajudaram a adquirir. Estou devendo o Outback!

Obrigado a todos os meus outros colegas de graduação, professores, meus colegas de mestrado, da Embrapa, academia, igreja, de todos os lugares, por me apoiarem e me fazerem feliz.

Sem todos vocês não poderia chegar onde estou hoje. MUITO OBRIGADO!

“Sabemos que Deus age em todas as coisas para o bem daqueles que o amam, dos que foram chamados de acordo com o seu propósito.” Rm 8.28

Sumário

Introdução.....	7
Capítulo 1 – A História dos Fogos de Artifício.....	9
Capítulo 2 – Como Funcionam Os Fogos de Artifício?.....	18
Capítulo 3 – As Cores dos Fogos de Artifício.....	29
Capítulo 4 – Os Fogos de Artifício em Sala de Aula.....	35
Considerações Finais.....	40
Referências.....	42
Apêndice I – Fogos de Artifício – História, Ciência e Tecnologia.....	45

Resumo

Os fogos de artifícios são presentes na vida das pessoas há séculos, sem uma origem muito definida, sendo geralmente creditada sua invenção aos chineses. Sua utilização ao longo do tempo passa desde armas de guerra e sinalizadores a entretenimento. Com o passar dos anos, foram adquirindo diversos tipos, formas e cores, passando a se enquadrar em diversas classificações e modelos, que vão desde inofensivos estalinhos de salão a explosivos foguetes. Apesar das diferenças, a maioria dos fogos tem como característica primordial as cores, que podem ser explicadas através da teoria da emissão atômica, possibilitando uma explicação científica a esse fenômeno encantador. O modelo atômico de Bohr é outro modelo para a explicação das cores que é estudado no Ensino Médio, então, utilizar os fogos de artifício como tema para o estudo do conteúdo de ciências na escola é uma boa forma de trazer coisas do cotidiano e integrá-los ao conteúdo acadêmico numa abordagem CTS (Ciência –Tecnologia – Sociedade) e interdisciplinar.

Palavras-chaves: fogos de artifício, cores, CTS.

Introdução

Os fogos de artifício não têm uma origem definida, nem em relação ao local onde surgiram e nem, à época, mas sabe-se que há muitos anos eles vêm nos encantando com suas variedades de cores e formas. Apesar de tantos anos essas diversas cores e formas ainda intrigam muitas pessoas acerca de como são obtidas e formadas. Muitas delas não associam tamanha beleza e magia à ciência. Isso mesmo, são as leis e teorias científicas, como algumas que aprendemos no Ensino Médio, em Química, por exemplo, que regem as mirabolantes façanhas desenvolvidas pelos fogos.

Estudar, então, os fogos de artifício nos proporciona desvendar através da Química, da Física, da História, ou seja, da Ciência como um todo, os mistérios por trás dessas mágicas engenhocas incandescentes e também, porque não o contrário, através deles, no desenvolvimento de uma relação ensino-aprendizagem, desvendar os mistérios por trás da Ciência.

Com esse intuito, esse trabalho tem o objetivo de levar os fogos de artifício de uma forma mais real e palpável as pessoas, contando um pouco de sua história; explicando e exemplificando seus diversos tipos, suas diversas formas, cores; o porquê dessas cores e ainda mais, como eles podem ser retratados em sala de aula numa abordagem CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade – e interdisciplinar para o ensino de Ciências.

Assim, o trabalho está dividido em quatro capítulos, nos quais as diferentes vertentes do tema, fogos de artifício, são tratadas.

No Capítulo 1, iniciamos o tema com sua história. Primeiramente, abordamos a origem da pólvora e sua composição e utilização, pois sendo essa o principal combustível utilizado nos fogos de artifício, suas histórias se confundem bastante. Posteriormente, falamos sobre os “trabalhadores do fogo” e “mestres do fogo”, homens que trabalhavam no desenvolvimento, obtenção, manuseamento e utilização dos fogos e os diversos papéis que esses fogos desenvolveram ao longo dos séculos. Finalmente, conta-se um pouco da história das cores dos fogos, como foram obtidas e quais os elementos que compõem cada cor.

No Capítulo 2, já entramos no universo burocrático e químico dos fogos de artifício. São retratados suas classificações, seus tipos, modelos e

composições químicas perante instruções técnicas estabelecidas por órgãos militares. São escolhidos quatro tipos dos diversos existentes dos fogos para uma explicação mais aprofundada, no qual através de teorias químicas, esclarecem-se as características específicas desses fogos, como seus formatos, suas cores, suas formas de explosão, etc.

O Capítulo 3 vem com a explicação das diferentes cores dos fogos. Traz através da mecânica quântica os conceitos de quantização da energia e dos espectros de emissão, que funcionam como uma “impressão digital” de cada elemento químico, proporcionando a variedade de cores que conhecemos.

Finalizando, o Capítulo 4 nos traz uma utilidade um tanto quanto desconhecida dos fogos de artifício: sua aplicação como temática em sala de aula no desenvolvimento da relação ensino-aprendizagem numa abordagem CTS e interdisciplinar para o ensino de ciências. São retratados os conceitos de interdisciplinaridade e de abordagem CTS, transferindo esses para o tema fogos de artifício de forma a promover uma relação entre o cotidiano do aluno e o conteúdo aprendido em sala de aula e a união de mais de uma área de conhecimento para o crescimento do aprendizado do aluno.

Com isso, o trabalho em questão busca contribuir para o despertar do pensamento crítico-científico acerca das coisas que fazem parte do mundo ao nosso redor e a capacidade desse mundo a nossa volta, ser utilizado como canal de aprendizado, como pilar para o desenvolvimento da educação, não só acadêmica, mas social. Um texto educativo sobre os fogos de artifício, encontrado no Apêndice I desse trabalho, é proposto para ser utilizado por professores e alunos como ferramenta didática no provimento desse objetivo.

Os fogos de artifício, portanto, parecem ser bem interessantes. Vamos conhecê-los?

Capítulo 1

A História dos Fogos de Artifício

A origem dos fogos de artifício não tem uma data certa. Sua história se encontra entrelaçada com a história das diversas instrumentações que se utilizam do fogo como fonte de ignição e que têm como principal combustível a *pólvora*. Cabe então ressaltar, primeiramente, como esta protagonizou o papel de principal “fonte explosiva” durante tantos séculos.

A *Pólvora*

A origem da pólvora é muito imprecisa. Acredita-se que por volta do século VIII d.C. alquimistas chineses, entre outros, à procura do elixir da vida, fizeram diversas misturas contendo todos os tipos de substâncias, incluindo óleos, mel e cera de abelha e dois ingredientes significativos para o futuro dos “trabalhos de fogo”: o salitre e o enxofre (RUSSEL, 2009). Surpreendentemente, a mistura entre os compostos orgânicos contidos no mel com o salitre (nitrato de potássio) e o enxofre era especial, pois quando aquecido gerou uma explosão semelhante a uma parede de fogo. Acidentalmente, os alquimistas chineses produziram em exatas proporções, uma reação em que composto orgânico e enxofre entram como combustíveis que são oxidados pelo oxigênio do nitrato de potássio, originando como conhecemos hoje, uma reação química exotérmica bastante vigorosa (RUSSEL, 2009).

Esses experimentos eram mantidos da melhor maneira possível em segredo, mas mesmo assim, a informação foi divulgada o suficiente para que a receita do composto explosivo chegasse a outros lugares, como à Europa, por exemplo. A tendência reativa do nitrato de potássio, então, desencadeada, ganhou a adição do carvão vegetal que também, junto com o enxofre geraram a mistura que dá origem à famosa pólvora verdadeira (RUSSEL, 2009).

Porém, a data e o local de invenção dessa pólvora verdadeira, apesar de exaustivamente investigada, ainda é desconhecida. Cada país colora com patriotismo diversas descobertas, creditando-as aos seus próprios “inventores” (RUSSEL, 2009). O que é muito interessante, no entanto, é que um texto taoísta datado em meados do ano 800 d.C. adverte para não se misturar

enxofre, rosalgar (óxido de arsênio) e salitre com mel, devido a se obter chamas, resultando na queima de mãos e rosto (VASCONCELOS; SILVA e ALMEIDA, 2010). Por volta de 1000 d.C., chineses utilizavam um propulsor semelhante à pólvora em formas brutas de foguetes, juntamente com granadas e fumaças tóxicas. Isso é visto, por exemplo, numa receita *Wu Ching Tsung Yao* datado de 1044 d. C. que descreve uma mistura de enxofre, salitre, sais de arsênio, sais de chumbo, óleos e ceras para dar um incendiário tóxico que poderia ser lançado de uma catapulta (RUSSEL, 2009). Vasconcelos, Silva e Almeida (2010) nos trazem outro relato da utilização da pólvora na antiguidade:

“Os árabes adquiriram conhecimentos no século XIII, quando um sírio, Hasan AL-Rammah, tinha escrito, em língua árabe, receitas de pólvora com instruções de usos diversos: fogos, foguetes, purificação do salitre e as descrições para produção de diferentes tipos de pólvora, usando textos que sugere (sic) terem vindo de conhecimentos chineses.”

As autoras nos mostram também, que o próprio Hasan Al-Rammah em seu Livro de Navegação Militar e de Dispositivos Engenhosos de Guerra, traz 107 receitas de pólvora, das quais 22 são para foguetes e dessas, 17 trazem a composição (75% de nitratos; 9,06% de enxofre e 15,94% de carbono). O texto descreve também que, em 1260, na Índia, durante uma batalha, escravos recém convertidos ao islamismo usavam explosivos com pólvora contra os mongóis. Khan (1996)¹ citado por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010) diz, porém, que foram os mongóis os primeiros a trazer a pólvora para o mundo islâmico. Johnson (2010)², citado por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010), afirma que os árabes criaram a primeira arma de fogo (arcabuz), que era um tubo de bambu reforçado com ferro, carregado com pólvora que era inflamada com a inserção de um arame aquecido. Mason (1962)³ e Chase (2003)⁴, citados por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010), afirmam, respectivamente,

¹ KHAN, Iqtidar Alam. Coming of Gunpowder to the Islamic World and North India: Spotlight on the Role of the Mongols, **Journal of Asian History**, Indiana v. 30 p.41–45, 1996.

² Johnson, Norman Gardner. "explosive", Encyclopædia Britannica, Chicago:2010 Encyclopædia Britannica Online. Acesso em: 21 abr 2010.

³ MASON, Stephen F. **A History of the Science**. First Collier Books Edition, ISBN: 0020934009, 1962. 638 p.

⁴ CHASE, Kenneth. **Firearms: A Global History to 1700**, Cambridge University Press, ISBN 0521822742, 2003.

que a Dinastia Sung já possuía armas de fogo feitas de bambu e que os árabes só obtiveram armas de fogo por volta de 1300.

Esses relatos, portanto, nos mostram uma já universalização do uso da pólvora, onde suas origens não são muito bem explícitas, mas são tendenciosas para o povo chinês. Essa universalização se torna ainda mais evidente quando, enfim, a pólvora chega a Europa.

Segundo Mason (1962), citado por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010), a pólvora primeiramente, chega à Mongólia quando esta invade a China no início do século XIII e após alguns anos, ao invadir também a Europa, leva consigo o pó magicamente explosivo. O relato de um norueguês no ano de 1250 nos prova a presença da pólvora, então, na Europa. Em seu capítulo militar, *Konungsskuggsjá*, menciona o uso do “carvão e enxofre” como a melhor arma para o combate entre navios.⁵ Ainda por volta do século XIII, o trabalho de um experimentador europeu estabeleceu a purificação e a formulação ideal para o desenvolvimento da verdadeira pólvora. Russel (2009) nos mostra quem é este:

“Seu nome era Roger Bacon. Nascido por volta de 1214, Bacon se tornou um monge, mas foi educado em Oxford antes de obter um doutorado em Paris. Seus assuntos incluíam Filosofia, Teologia, Matemática, Física e Química e até mesmo, Cosmologia. Ele cuidadosamente purificou o nitrato de potássio (por recristalização com água) e passou a experimentá-lo com diferentes proporções de outros dois ingredientes (enxofre e carvão de salgueiro), até que se convenceu de que: Pelo flash e pela queima de fogos e pelo horror dos sons, maravilhas podem ser forjadas e em toda distância que queremos, de modo que dificilmente um homem pode se proteger ou suportá-lo.” (RUSSEL, 2009, p. 3, tradução nossa)

A Igreja não gostou da idéia de um de seus discípulos estar fazendo alquimia e Bacon foi preso durante dez anos. Mas preservou sua receita mais importante na forma de um anagrama (RUSSEL, 2009). Este só foi desvendado 650 anos depois por um coronel do exército britânico como sendo: sete partes de salitre, cinco de carvão e cinco de enxofre (Le Couter; Burreson,

⁵ "King's Mirror, Chapter XXXVII: The duties, activities and amusements of the Royal Guardsmen. Disponível em: <<http://www.mediumaevum.com/75years/mirror/sec2.html#XXXVII>> Acesso em: 21 abr 2010.

2006⁶; Maar, 2008⁷, citados por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010)); ou seis partes de salitre, cinco de avelã jovem, isto é, carvão vegetal e cinco de enxofre (RUSSEL, 2009). Em termos de percentagem isso seria equivalente a 37,5% de salitre, 31,25% de carvão vegetal e 31,25% de enxofre.

A receita de Bacon era muito similar as receitas dos alquimistas chineses. E outras receitas encontradas em livros de autores europeus como Albertus Magnus e Marcus (*De Mirabilibus Mundi* e *Liber Ignium*, respectivamente) se referem à produção de pólvora, mas de acordo com Partington & Hall (1999)⁸, citados por Vasconcelos, Silva e Almeida (2010), estas podem ter sido tomadas dos trabalhos de Bacon e não o contrário, mostrando que esse foi o precursor do conhecimento sobre pólvora na Europa.

Os Europeus introduziram à pólvora o pó de milho, o que aumentou sua consistência e provocou a iluminação dos grânulos quando o fogo passa por esse, antes da significativa expansão do gás quando a pólvora explode (VASCONCELOS, SILVA e ALMEIDA, 2010). Para cada tipo de arma eram colocados tamanhos diferentes de grânulos. Essas armas foram inventadas após a morte de Bacon (em 1292) então ele nunca chegou a usar o termo atual *pólvora*, mas ele tinha conhecimento do poder de fogo de sua invenção, na qual ele afirma em sua obra maior, *Opus Majus*, que o som produzido excede o de um trovão e as luzes excedem a de um relâmpago (RUSSEL, 2009):

“Nós temos um exemplo deste nesse brinquedo de criança que é feito em várias partes do mundo, a saber, um instrumento tão grande como o polegar humano. A partir da força do sal chamado salitre tão horrível som é produzido na explosão de uma pequena coisa (um pedaço de pergaminho), que percebemos este som exceder o estrondo de um forte trovão e os flashes, excederem a mais brilhante das luzes que acompanham o trovão.” (RUSSEL, 2009, p. 4, tradução nossa)

A partir daí a pólvora então passou a ser usada para fins bélicos. Um texto árabe datado de por volta de 1300 a 1350 d.C., descreve a pólvora como propulsor. É sabido também daquela época, que na Europa, canhões, tendo

⁶ LE COURTEUR, Penny; BURRESON, Jay. **Os Botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história**. Rio de Janeiro. Ed. Jorge Zahar, 2006. 343

⁷ MAAR, Juergen Heinrich. **História da química**. Florianópolis: Conceito Editorial, 2008. 946 p.

⁸ PARTINGTON, James Riddick; HALL, Bert S. **A History of Greek Fire and Gunpowder**. Baltimore: Johns Hopkins University Press. ISBN 0-8018-5954-9, 1999.

pólvora como propulsores, foram usados para a proteção de castelos, vilas e portos, como em 1338, onde os portos de Harfleur e LHeure foram protegidos com canhões contra a invasão de Eduardo III (RUSSEL, 2009). Relatos do uso freqüente de armas de fogo em meados do século XIV e um estoque de canhões e pólvoras por parte da coroa inglesa no início do século XV mostram o crescimento do uso da pólvora para esse fim (RUSSEL, 2009).

A pólvora para esses fins bélicos era feita por artesãos militares especializados que também, foram obrigados a fazer fogos de artifício. Estes foram chamados, posteriormente, de *firemakers* (VASCONCELOS, SILVA e ALMEIDA, 2010). Mais especificamente, na Inglaterra, o desenvolvimento de novas técnicas para a propulsão de foguetes e para o tiro de foguetes eram designadas a pessoas com os títulos de *fireworkers* e *firemasters* (JOHNSON, 1994). Vamos então saber um pouco da história desses e compreender sua importância para o desenvolvimento dos fogos de artifício.

***Fireworkers e Firemasters* (“trabalhadores do fogo” e “mestres do fogo”)**

As diversas festividades pirotécnicas por motivos, de religiosos a políticos, surgiram na Itália, na cidade de Florença, no final do século XIV (MACHADO e PINTO, 2011). Mas foi na Inglaterra que esse tipo de festa ganhou imenso prestígio.

No século XVI, os títulos de artilheiro e *fireworker* eram designados para trabalhos diferentes. O primeiro era para aquele que ficava encarregado da preparação e estudos de deflagrar pós e materiais utilizados na queima e disparo de projéteis, enquanto o segundo, era encarregado da estrutura das munições, transporte e balística dos projéteis (JOHNSON, 1994). Willian Bourner, um escritor da artilharia inglesa, no seu livro *Invenções e Dispositivos*, de 1578, nos conta que muitos artilheiros traziam terror para seus inimigos através dos fogos de artifício, enquanto outros usavam esses fogos para momentos de prazer durante a noite (JOHNSON, 1994), mostrando a diversidade da aplicação dos fogos de artifício desde épocas antigas.

Em relação ao artilheiro e ao *firemaster*, Cyprian Lucar de Worcester e Oxford, fala que “um artilheiro deve ser hábil em refinar e sublimar o salitre... purificar enxofre, fazer cartuchos...” (JOHNSON, 1994).

Os fogos de artifício como vimos no relato de William Bouner dois parágrafos acima, era usado para “momentos de prazer durante a noite...”, onde celebrações de paz e diversas outras eram marcadas por verdadeiros shows pirotécnicos. Percebemos isso em diversos relatos de países e cidades em anos e séculos diferentes.

Na descrição de um evento organizado para a eleição de um novo Papa no Castelo Santo Ângelo, em 1579, feito pelo gravador Ambroglio Giovanni Brambilla no festival Girandola, em Roma, por exemplo, vemos o encanto deste para com o espetáculo pirotécnico acontecido, um dos primeiros vistos na Europa (WERRETT, 2008).

“É como se toda a cidade estivesse em chamas...como se o céu tivesse se aberto...é como se todo o ar no mundo estivesse com fogos de artifício e todas as estrelas do céu estivessem caindo à terra – uma coisa verdadeiramente estupenda e maravilhosa de se ver.”
(WERRETT, 2008, v. 32, p. 32, tradução nossa)

O século XVII foi marcado por uma grande movimentação pirotécnica. Por volta de 1605 a compra ou manutenção de fogos de artifício foi proibida devido a tentativa de Guy Fawkes em tentar explodir as Casas do Parlamento inglês utilizando 36 barris de pólvora (RUSSEL, 2009). Em uma obra publicada em 1611, *History of Colleges in and around London*, há relatos de homens extremamente hábeis na arte da pirotecnia e fogos de artifício. *Of the Great Art of Artillery*, publicado em 1650 por Simienowicz, trazia de forma amplamente ilustrada e descritiva mais do que fogos de artifício de artilharia (JOHNSON, 1994). Em 1672, um laboratório regular para a “recepção de fogos de artifício” foi iniciado em Woolwich e em 1683, um ilustre livro de instruções foi emitido para a solicitação dos trabalhos dos *firemasters* para a produção de “foguetes de papel vazio” quando estes não estivessem fazendo serviços de guerra (JOHNSON, 1994). Ainda no final deste século, Sir Martin Beckman, um homem extremamente instrumentado e bem sucedido em promoção de fogos de artifício, assumiu a “Controladoria de fogos de artifício e *firemasters, fireworkers,...*” (JOHNSON, 1994).

Já na metade do século XVIII, Benjamin Robin e outros mencionam “A celebração da paz final de 1749”, em Londres, com uma exposição de fogos de artifício (JOHNSON, 1994). É percebida neste século também, a influência que

estes fogos causavam no pensamento filosófico e científico da época. Robert Boyle acreditava que o universo mecânico era como um grande fogo de artifício; Leibniz tinha os fogos de artifício como modelo para a sua “harmonia pré-estabelecida”; Jhon Theophilus Desaguliers fez experimentos com fogos de artifício para entender as explosões subaquáticas; na Rússia, no ano de 1725, foi fundada a Academia Russa para trazer ciência ao império russo e conseqüentemente, o estudo e projeções de fogos de artifício estavam entre esse processo científico; Antoine Lavoisier deu conselhos no desenvolvimento de fogos de artifício com o recém descoberto (década de 1780) “gás inflamável” (atualmente, o gás hidrogênio) (WERRETT, 2008).

No início do século XIX, William Congreve (1772-1828), dirigiu, pessoalmente, a emissão de seus foguetes contra o cerco de Conpenhagen e conseguiu tal feito, devido ao desenvolvimento de foguetes de alto poder explosivo e incendiário, mais fortes do que os existentes na época (RUSSEL, 2009 e JOHNSON, 1994). A partir daí, praticamente, todo o empenho europeu neste século foi para o desenvolvimento e fabricação de foguetes de guerra, onde a evolução destes foi considerável e gradual (RUSSEL, 2009). O próprio Congreve criou outras diversas utilidades para seus foguetes e outras invenções para uso em guerra como: o uso de foguetes na caça de baleias; o desenvolvimento de foguetes salva-vidas e de armaduras para navios de guerra (JOHNSON, 1994). Ainda na primeira metade deste século, Claude Fortuné Ruggieri, mostrou que a pirotecnia exigia conhecimentos de Física e Química, sendo necessário mais do que conhecimentos arquitetônicos e artísticos para a utilização desta, fazendo com que a pirotecnia então, fosse vista como uma forma de “Química aplicada” (WERRETT, 2008).

O estudo e o desenvolvimento dos fogos de artifício foram crescendo e ganhando melhorias gradualmente com o passar do tempo. Diferentes técnicas, diferentes aplicações, diferentes formas e diferentes cores foram sendo obtidas. Essa última foi uma das características mais impressionantes adquiridas pela modernização dos fogos de artifício e por isso merece um destaque em relação às outras.

A História das Cores nos Fogos de Artifício

Na origem dos fogos de artifício as cores eram limitadas, geralmente, ao dourado e ao prateado, devido à mistura restrita dos componentes (pólvora, carvão e limalha de ferro). Os fogos passaram então a adquirir novas colorações quando, em 1786, o químico francês Claude Louis Berthollet (1748-1822) descobriu o clorato de potássio (KClO_3) este também, proporcionou grande luminosidade e brilho, pois esse composto é um oxidante importantíssimo nas reações dos fogos de artifício (MACHADO e PINTO, 2011). Anteriormente, no século XVII, já se tinha notícia do uso de alguns compostos para a obtenção de cores diferentes nos fogos de artifício. No ano de 1635, em seu livro sobre fogos de artifício, John Bate relata o uso de sulfeto de antimônio para a obtenção da cor azul e também, comenta do uso de pequenas quantidades de ferro para dar uma cauda mais luminosa aos foguetes (RUSSEL, 2009). No século XIX, Claude-Fortuné Ruggieri, um pirotécnico francês, mais especificamente no ano de 1801, descreve a utilização de sais de metais para a produção de chamas coloridas (Russel, 2009). Na década de 1820, o químico americano, James Cutbush, também fez diversos experimentos para a produção de novas cores e efeitos pirotécnicos (WERRET, 2008). Nos anos de 1865 e 1894, os elementos químicos magnésio e alumínio foram acrescentados a mistura pirotécnica proporcionando faíscas brancas e uma melhora do brilho (MACHADO e PINTO, 2011). Ainda no século XIX, a empresa Brock, fundada no século anterior por John Brock, para uma aclamada exposição no Palácio de Cristal (Inglaterra), estabeleceu um padrão inédito de brilhos e cores, pela introdução de pós metálicos e cloratos que são utilizados até hoje para esses fins (RUSSEL, 2009). Diversas substâncias utilizadas naquele tempo para a diversificação de cores nos fogos de artifício foram documentadas por Audot, como nos diz Russel (2009):

“Clorato de potássio, KClO_3 : usado para realçar as cores das chamas produzidas por outros metais, por exemplo, nitrato de estrôncio, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, (chama vermelha).

Sulfeto de antimônio, Sb_2S_3 : dá uma chama azul.

Limalha de ferro e aço: dá faíscas brancas e vermelhas.

Limalha de cobre vermelho: dá faíscas esverdeadas.

Limalha de zinco: produz faíscas azuis.

Âmbar amarelo (resina orgânica): dá uma chama amarelada.

Lâmpada negra (fuligem): dá uma chama avermelhada.

Nitrato de cobre, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$: dá uma chama azul.

Nitrato de bário, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$: dá uma chama verde.” (RUSSEL, 2009, p. 14, tradução nossa)

Machado e Pinto (2011) nos apresentam mais alguns compostos utilizados na produção da festa de cor e brilho dos fogos de artifício:

“Alumínio (Al): produz chamas de cor prata e branca, bem como faíscas...”

Cálcio (Ca): aprofundam as cores dos fogos de artifício. Seus sais produzem a cor laranja...”

Lítio (Li): é usado para gerar o vermelho. O carbonato de lítio, em particular, é um corante comum...”

Sódio (Na): dá a cor amarelo ouro; muitas vezes seu brilho é tão intenso que mascara cores menos intensas...”

Fósforo (P): queima espontaneamente no ar e gera efeitos de brilho no escuro. Pode ser um componente do combustível...”

Titânio (Ti): como pó ou em flocos, produz faíscas.” (MACHADO, PINTO; 2011, v.288, p. 30)

Essa variedade de compostos nos possibilita, então, diversas cores e efeitos que tornam mais exuberantes e impressionantes os fogos de artifício. Tal “magia” é ainda muito utilizada nos dias de hoje em diversos tipos de comemorações religiosas, eventos esportivos e festas em geral. Um exemplo bem claro são as grandes apresentações pirotécnicas de virada de ano (*Reveillon*) que acontecem em várias metrópoles espalhadas pelo mundo com duração de vários minutos. Outras utilizações mais corriqueiras de fogos de artifício são os “estalinhos” e bombinhas utilizadas, principalmente, em festas juninas; e sinalizadores que hoje em dia são muito utilizados em estádios de futebol durante as partidas.

Então, como explicar tantas cores, tantos efeitos, tantos tipos de fogos? O porquê desses efeitos? Como eles acontecem? Quais são os tipos de fogos? Suas composições? Vamos agora entrar no universo químico dos fogos de artifício.

Capítulo 2

Como funcionam os fogos de artifício?

Como vimos no capítulo anterior, os fogos de artifício a séculos vêm encantando as pessoas com sua performance de cores e formas, elevando os sentidos e os sentimentos aos maiores níveis alcançáveis. Então, que tal, se além de sentir, nós também pudéssemos entender o funcionamento, a composição, o que são os fogos de artifício realmente. Esse capítulo vem com o intuito de “desvendar os mistérios” por trás dos espetáculos de sons, luzes e formas que os fogos nos proporcionam.

Classificação dos fogos de artifício

De acordo com a Instrução Técnica 030 – Fogos de Artifício - da PM do E de SP - CB (2004) os fogos de artifício são “substâncias ou misturas concebidas para produzir um efeito, por calor, luz, som, gás ou fumaça, ou combinação destes, como resultado das reações químicas exotérmicas, auto-sustentáveis, caracterizada pela deflagração.”, p. 584. Um conceito ainda mais generalizado encontrado na Instrução Técnica 030 – Comércio de Fogos de Artifício - da PM do E de SP - CB (2010) nos diz que artifício pirotécnico é a “designação comum de peças pirotécnicas preparadas para transmitir a inflamação, produzindo luz, ruído, incêndios ou explosões, com finalidade de sinalização, salvamento ou emprego especial em operações de combate.” Na primeira definição encontramos a palavra “deflagração” que caracteriza os processos reacionais envolvidos nos fogos de artifício. A deflagração é um “fenômeno característico dos chamados baixos explosivos, que consiste na autocombustão de um corpo, composto de combustível, comburente e outros, em qualquer estado físico, o qual ocorre por camadas e a velocidades controladas, de alguns décimos de milímetros até 400 metros por segundo.” (INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – COMÉRCIO DE FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP - CB, 2010). E acerca dos componentes que fazem parte dos artifícios pirotécnicos a mesma Instrução Técnica citada anteriormente nos diz que a composição pirotécnica “é uma mistura química de estado predominantemente sólido, capaz de produzir uma reação química exotérmica controlada, independente e auto-suficiente, que resulta em calor, gás, som, luz

ou uma combinação destes efeitos, cujo fim é entretenimento.” A partir dessas definições é possível concordar com Calvert (2002) que nos diz que “talvez a ‘pirotecnia’ deva ser reservada para as aplicações sérias e ‘fogos de artifício’ usado para o lado do entretenimento,” (tradução nossa).

Devidamente definidos, os fogos de artifício são classificados de acordo com diversos parâmetros e normas que levam em conta sua periculosidade, a quantidade de pólvora que possui e os modos como devem ser transportados e armazenados para venda. O terceiro tópico da Norma Técnica Nº 08 do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2002) nos traz uma classificação dos fogos de artifício a partir da quantidade de pólvora que este possui e exemplos conforme o “Decreto Federal nº 3.665, de 21 de novembro de 2000, R 105, art. 112, incisos I e II” (INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP - CB, 2004):

“3.1 Fogos de Artifício Classe A

3.1.1 Fogos de vista, sem estampido;

3.1.2 Fogos de estampido que contenham até 20 (vinte) centigramas de pólvora, por artefato pirotécnico;

3.1.3 Balões pirotécnicos.

3.2 Fogos de Artifício Classe B

3.2.1 Fogos de estampido que contenham até 25 (vinte e cinco) centigramas por artefato pirotécnico;

3.2.2 Foguetes com ou sem flecha de apito ou de lágrimas, sem bomba;

3.2.3 “pos-a-feu”, “morteirinhos de jardim”, “serpentes voadoras” e outros equiparáveis.

3.3 Fogos de Artifício Classe C

3.3.1 Fogos de estampido que contenham acima de 25 (vinte e cinco) centigramas de pólvora por artefato pirotécnico;

3.3.2 Foguetes com ou sem flecha, cujas bombas contenham até 6 (seis) gramas de pólvora por artefato pirotécnico.

3.4 Fogos de Artifício Classe D

3.4.1 Fogos de estampido com mais de 2,50 (dois vírgula cinquenta) gramas de pólvora por artefato pirotécnico;

3.4.2 Foguetes, com ou sem flecha, cujas bombas contenham mais de 6 (seis) gramas de pólvora;

3.4.3 Baterias;

3.4.4 Morteiros com tubos de ferro;

3.4.5 Demais fogos de artifício.” (Norma Técnica 08 – Fogos de Artifício – do CBM do DF, 2002, p. 1-2)

Recomendações dadas pelo Subcomitê de Técnicos em Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas juntamente com os incisos I e II do artigo 112º do Decreto nº 3.665 (R 105), combinados com o anexo “D” da Portaria nº 09 do Departamento de Logística do Exército, classificam os fogos de artifício como um produto perigoso de *Classe 1* e grupo de compatibilidade *Letra G* (INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – COMÉRCIO DE FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP - CB, 2010).

Os fogos de artifício possuem algumas classificações e diversos tipos que se enquadram dentro dessas classificações. A REG/T 02 – FOGOS DE ARTIFÍCIO, PIROTÉCNICOS, ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS E ARTEFATOS SIMILARES e a INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – COMÉRCIO DE FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP - CB (2010) nos trazem muitos exemplos desses tipos de fogos de artifício.

“Bomba aérea: artefato lançado por meio de tubos de lançamento e contendo carga de projeção, retardo, carga de abertura, baladas e/ou tiros. Ex.: Bomba de polegadas, shell, shell-in-mortar, minas. Figura 2.1.

Bomba de solo: tubo, de papel ou de plástico, contendo composição pirotécnica e iniciador. Ex.: Traque, estalo de riscar bomba numerada, banger, firecracker. Figura 2.2

Centelhador de tubo: tubo contendo composição pirotécnica. Ex.: Vela, velinha, chuva, bengala, cascata, estrela lume. Figura 2.3.

Centelhador de vara: arame ou palito parcialmente coberto de composição pirotécnica. Ex.: Chuva, chuvinha, estrela, estrelinha, sparkle. Figura 2.4.

Conjunto de múltiplos tubos: montagem que inclui dois ou mais tipos de fogos de artifício, com um ou mais pontos de iniciação e queima em sequência, paa (dic) apresentação em show. Ex.: Tortas, girândolas, cakes, letreiros, set pieces, kits, base de míssil.

Estalo de salão: dispositivo contendo composição pirotécnica sensível a choque mecânico. Ex.: Traque de massa, estalinho, throwdown. Figura 2.5.

Estopim: fio ou cordão, encapado ou desencapado, impregnado de composição pirotécnica. Ex.: Retardo, rastilho, safety fuse, quickmatch.

Foguete: tubo com carga de projeção, contendo baladas e/ou bombas aéreas. Ex.: 3 tiros, rabo de pavão, bouquet de lágrimas, crakling, crepitante, bomba 12 x 1. Figura 2.6.

Tubo de lançamento – Morteiro: Tubo com carga de projeção contendo bomba aérea singela. Figura 2.7.

Fonte: tubo cônico ou cilíndrico contendo composição pirotécnica. Ex.: Vulcão, Sputnik árvore de natal, fountain. Figura 2.8.

Fumígeno: tubo contendo composição pirotécnica. Ex.: Smoke.

Giratório aéreo: tubo provido de hélice contendo composição pirotécnica. Ex.: Avião, abelhinha, óvni, helicóptero, disco voador, coroa giratória. Figura 2.9.

Giratório de solo: Tubo cilíndrico ou em forma de espiral contendo composição pirotécnica. Ex.: Peão, giroloco, roseta. Figura 2.10.

Candela: tubo com diversas cargas de projeção contendo baladas e/ou bombas aéreas, montadas em alternância. Ex.: Vela romana, “Roman candle”, pistola. Figura 2.11.

Rojão: dispositivo autopropulsado, com meio de estabilização em voo. Ex.: Rocket, cometa, cometinha, cometa de apito, rojão com vara, rojão tipo míssil, foguete.

Bolas crepitantes: pequeno dispositivo de papel contendo composição pirotécnica e iniciador. Ex.: Dragon eggs, crackling ball, croque.

Bateria: conjunto de bombas de solo. Ex.: Bateria de tiros. Figura 2.12” (A REG/T 02 – FOGOS DE ARTIFÍCIO, PIROTÉCNICOS, ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS E ARTEFATOS SIMILARES; Instrução Técnica 030 – Comércio de Fogos de Artifício - da PM do E de SP - CB, 2010, p. 9-13)



Figura 2.1: bomba aérea



Figura 2.2: bomba de solo



Figura 2.3: centelhador de tubo



Figura 2.4: centelhador de vara



Figura 2.5: estalo de salão



Figura 2.6: foguete



Figura 2.7: tubo de lançamento (morteiro)



Figura 2.8: fonte



Figura 2.9: giratório aéreo



Figura 2.10: giratório de solo



Figura 2.11: candela



Figura 2.12: bateria

Dentre esses diversos tipos, muitos são utilizados por nós corriqueiramente em festividades, como “estalinhos” e “bombinhas” de solo, outros já são utilizados para maiores efeitos e são manuseados em locais adequados e longe da presença de pessoas, como o conjunto de múltiplos tubos (baterias) e rojões. Vamos então, falar sobre alguns desses tipos de fogos de artifício mais detalhadamente com o intuito de entender, de forma geral, como se dá a composição destes, a formação de seus diferentes “estouros” e a explicação química por trás de objetos tão encantáveis. Falaremos, especificamente, de quatro deles: os foguetes, os morteiros, os estalos de salão e as fontes.

Foguetes

Os foguetes têm como principal propelente, a pólvora. Ela é classificada como um composto propulsor, pois tanto combustível como oxidante se encontram misturados intimamente e “fazem parte do motor na qual o pó é comprimido para formar um grão monolítico único na câmara de combustão.” (RUSSEL, 2009) A importância da compressão do grão de pólvora é controlar a taxa de queima do mesmo, assegurando uma queima mais lenta e um maior tempo antes da propulsão deste, permitindo uma maior segurança no seu manuseamento. Essa taxa de queima, melhor conhecida como taxa de combustão, é na verdade, a medida de velocidade de regressão da superfície de um propelente sólido perpendicularmente a sua superfície (PORTO, 2007). A combustão da pólvora também proporciona o impulso para a projeção do

foguete. A pulverização da pólvora aumenta a área de superfície para a reação de combustão, aumentando o impulso. Como a massa do foguete diminui, porque o combustível é consumido, a velocidade é aumentada, fazendo com que o foguete alcance os céus (RUSSEL, 2009). O “motor” do foguete serve para vencer a gravidade e levá-lo ao alto, no qual seu movimento é direcionado pela cauda que é guiada pelo vento e mantém o centro de gravidade do mesmo, permitindo com que ele não gire em torno de si mesmo ou pratique movimentos completamente aleatórios.

Esses foguetes podem apresentar diversos efeitos, entre eles: ruptura, crepitação, *gliter*, chuvas e estrelas (RUSSEL, 2009). Russel (2009) também nos traz uma fórmula típica de uma estrela de prata e ouro, exemplos de um desses efeitos. Para a primeira, é necessária a mistura de 72% (em peso) de pólvora, 16% de sulfureto de antimônio, 5% de alumínio em pó e 7% de dextrina (polissacarídeo); já para a segunda, uma mistura de 58% de farelo de pólvora, 4% de pó de alumínio, 24,5% de sulfureto de antimônio, 6% de oxalato de sódio e 7% de dextrina, são suficientes. Outro efeito lembra um buquê de flores. Dentro de um cone de plástico na cabeça do foguete, pequenas “estrelas” verdes compostas de 36% de nitrato de bário, 48% de clorato de potássio, 13% de goma-laca (resina) e 3% de dextrina, são ejetados quando inflamados pela queima do motor que se comunica com a carga de ejeção da pólvora.

A diversificação de efeitos e a busca por propelentes mais potentes têm feito dos foguetes verdadeiras obras de engenharia regadas de fórmulas matemáticas e leis físicas e químicas, que nos proporciona um lazer único ao ver a subida deles deixando para trás um rastro de brilhos e cores.

Morteiros

Como os foguetes, os morteiros, e presumivelmente, todos os fogos de artifício são baseados em reações exotérmicas, reações onde há a liberação de calor. Esse calor é representado pela letra Q e está associado à diminuição da entalpia (H) do sistema. A pressão constante $Q = -\Delta H$, de modo que para uma reação com liberação de calor o ΔH é negativo (exotérmico), já para uma reação com absorção de calor, o ΔH é positivo (endotérmico) (CALVERT, 2002). Além da entalpia, as reações que envolvem calor são controladas por

outros fatores, como a entropia (S), “que é uma medida da desordem molecular de um sistema” (ATKINS, 1997, v.1, p. 78). O aumento desta favorece a espontaneidade da reação, e se for suficientemente grande, mesmo quando a entalpia não favorece, a reação pode ocorrer. A reação é espontânea ou não, quando levamos em conta uma associação dessas duas funções (entalpia e entropia) com a temperatura (T) que é chamada de energia livre de Gibbs (G). Essa é determinada pela Equação 1(ATKINS, 1997, v. 1):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

Quando o ΔG é negativo a reação é espontânea, quando ele é positivo, a reação não ocorre espontaneamente.

Na pirotecnia é visível um aumento significativo da entropia, principalmente, em morteiros onde a carga que está confinada num pequeno local é liberada para um espaço infinitamente aberto, em comparação ao local inicial, até por isso, a maioria das reações desse feitio tendem a sua conclusão. Especificando melhor o exemplo do morteiro, ele possui uma carga confinada em um tubo de argamassa que contém pólvora e outros agentes que fornecem as cores e formas de suas explosões na forma de compartimentos. Um pavio é então incendiado e atinge a primeira carga de pólvora que expelle essa carga para fora do tubo como um tiro de um canhão (RUSSEL, 2009). Pequenos fusíveis interligam esses compartimentos, mas a pólvora por ser um propelente que é iniciado apenas por chama, sendo insensível a impactos e faíscas (CALVERT, 2002), atrasa um pouco a queima desses fusíveis, fazendo com que esses queimem apenas quando a carga inicial lançada atinja certa altura que permite segurança aos expectadores. Quando esses fusíveis são queimados, estouram os outros compartimentos liberando as cargas coloridas e multiformes do show (RUSSEL, 2009), que podem ser vistas na Figura 2.13.



Figura 2.13: Explosão de morteiros

Estalos de salão

Os estalos de salão são pequenas bombinhas do tamanho aproximado de um grão de feijão, visualmente associados a saquinhos cheios de areia (OLIVEIRA, 2007). Eles funcionam por aperto, golpe ou impacto e é caracterizado por isso, como alto explosivo, sendo uma das raras aplicações dessa categoria na pirotecnia (MIGUEZ). Os altos explosivos têm como uma de suas características a detonação que é um fenômeno consistente na “autopropagação de uma onda de choque através de um corpo explosivo, transformando-o em produtos mais estáveis, com liberação de grande quantidade de calor” (INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – COMÉRCIO DE FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP, 2010). A detonação é a causa, nesse caso, da explosão que é “um violento arrebatamento ou expansão de um explosivo (tipo de matéria que, quando iniciada, sofre decomposição muito rápida em produtos mais estáveis, com grande liberação de calor e desenvolvimento súbito de pressão), ou ainda, pela súbita liberação de pressão

de um corpo com acúmulo de gases” (INSTRUÇÃO TÉCNICA 030 – COMÉRCIO DE FOGOS DE ARTIFÍCIO - DA PM DO E DE SP, 2010).⁹

Os estalos de salão são compostos, em geral, por: areia, papel de seda e fulminato de prata, de fórmula molecular (CNOAg).¹⁰ Esse último composto é o princípio ativo do estalo de salão. Descoberto por Liebig, em 1823, foi motivo de diversos estudos por sua característica como metâmero¹¹ do cianato de prata (descoberto alguns anos antes por Whöler) e por sua grande instabilidade, caracterizando-o com propriedades explosivas (GUITIÁN, 1994). Maar (2006) nos revela que Liebig foi motivado a estudar os fulminatos, quando ainda jovem, em uma feira de sua cidade, viu um “mágico” fabricar uma substância explosiva dissolvendo prata em ácido nítrico e adicionando álcool. Até hoje a fabricação de fulminato de prata para a aplicação em fogos de artifício, resumidamente, consiste da adição de 10 gramas de prata em 1 litro de ácido nítrico concentrado; após a dissolução precipita-se um pó branco com 300 mililitros de álcool puro que é em seguida, filtrado, lavado e seco. O cobre é um catalisador na fabricação deste tendo ainda como função, garantir a estabilidade e a durabilidade do explosivo pela permanência de seus traços no produto final (MIGUEZ). Para a confecção do estalo de salão, um grama desse pó branco é então misturado com areia úmida, bem lavada e neutralizada para pH neutro, que são colocados em saquinhos de papel, onde ficam para secar. A umidade sai pelos poros do papel (OLIVEIRA, 2007).

O segredo então dos estalos de salão, onde o simples arremesso no chão causa seu estouro é a grande capacidade de explosão do fulminato de prata, que esconde seu segredo na instabilidade do íon fulminato, cuja estrutura pode ser vista na Figura 2.14:



⁹ Obviamente, a proporção desses conceitos atingida pelo pequeno tamanho dos estalos de salão, é ínfima, tornando-os livre para comercialização e uso por qualquer pessoa, de qualquer idade, inofensivamente.

¹⁰ Essa composição foi retirada da embalagem original de duas marcas revendedoras de estalos de salão: a *PIROCOLOR* e a *TROPICAL*.

¹¹ *Metâmeros*: são dois ou mais isômeros, que, além da mesma fórmula mínima, possuem a mesma fórmula molecular e, portanto, o mesmo peso molecular (GUITIÁN, 1994).

Figura 2.14: Íon fulminato

Diferentemente do seu isômero cianato, que possui o átomo de carbono no centro de sua estrutura fazendo com que esse realize as quatro ligações que lhe cabem ($\text{N}=\text{C}=\text{O}$), o fulminato deixa o nitrogênio no centro concebendo uma carga positiva e uma carga negativa no oxigênio (CALVERT, 2002). Esse íon funciona como um halogênio, tanto em relação a sua carga, quanto em relação a sua reatividade. A fraca ligação simples entre o nitrogênio e o oxigênio, torna propícia tamanha reatividade e instabilidade, pois compostos com radicais nitrogenados parecem liberar oxigênios radicalares quando uma molécula de nitrogênio gasoso (N_2), que é estável, é formada (CALVERT, 2002). Contudo, os mecanismos de reação de explosivos não são muito conhecidos, e freqüentemente, tais explicações são esboços teóricos que ainda não foram comprovados.

Fontes

As fontes são fogos de artifício populares que vão de 15 a 125 milímetros que tem o intuito, como sugere o nome, de produzir uma fonte luminosa de faíscas. Quando este é suspenso e seu acendimento é feito na posição invertida, um efeito cascata é obtido (RUSSEL, 2009). Esse efeito pode ser visto na Figura 2.15:



Figura 2.15: Cascata de fogos de artifício descendo pelos rochedos do Castelo de Edimburgo.

O propulsor geralmente utilizado na composição das fontes é a pólvora, contudo, as faíscas são originadas por outras substâncias que são conhecidas

como emissores (RUSSEL, 2009). Isso se dá, pois, os componentes do propulsor reagem produzindo gases quentes que aquecem as partículas dos emissores, ejetando-os para fora do corpo pirotécnico, assim, em contato com o ar, essas partículas quentes proporcionam o efeito fonte. Alguns emissores freqüentemente utilizados são: carbono, titânio, alumínio, ferro e magnésio (RUSSEL, 2009). Esses emissores, de forma geral, são os responsáveis pelas diferentes cores que a fonte emite, por exemplo, o alumínio permite cores de prateado a dourado e o sulfeto de potássio permite cores de alaranjado a vermelho (RUSSEL, 2009). Além disso, esses materiais são responsáveis pela intensidade do brilho das faíscas, permitindo brilhos mais ou menos intensos de acordo com a temperatura que é atingida durante a queima destes e de suas respectivas características (RUSSEL, 2009).

Percebemos então que tanto as fontes, quanto praticamente, todos os tipos de fogos de artifício têm em sua essência o encanto da variedade de cores e brilhos. Vimos anteriormente, que ao longo da história a busca por essa diversidade sempre foi o objetivo de diversos cientistas, fabricantes e trabalhadores de fogos de artifício e que a adição de inúmeras substâncias e compostos possibilitaram essa enorme gama de cores e brilhos que temos hoje na pirotecnia. Mas então, porque existem todas essas cores? Porque diferentes compostos dão diferentes cores? Como explicar esse truque que os fogos de artifício nos proporcionam? Precisamos da Química e de suas ferramentas para desvendar as cores que talvez sejam os mais misteriosos e encantadores efeitos da pirotecnia.

Capítulo 3

As Cores dos Fogos de Artifício

Iremos tratar agora, possivelmente, da parte mais intrigante e encantadora dos fogos de artifício: suas cores. No capítulo 1 já falamos algo acerca delas em relação a como foram descobertas e desenvolvidas ao longo da história, quais principais compostos geravam certas cores, mas não explicamos o porquê disso. Vamos então entender como a Química e suas teorias e leis nos levam a desvendar acontecimentos invisíveis a olho nu que proporcionam um espetáculo, felizmente, visível e belo.

Os Primórdios da Mecânica Quântica

Antes de pensarmos propriamente na explicação de como se dão as cores, devemos entender, primeiramente, como foi o caminho até se chegar a essa explicação e as características e funcionalidades do ator principal desse show: o átomo.

Russel (2009) nos traz uma visão bem ilustrativa e palpável de como seria um átomo. Ele nos diz para imaginarmos o átomo como uma bolha ampliada imensamente, mais ou menos para o tamanho de uma cidade pequena, onde a atmosfera da bolha não seria completamente vazia, mas possuísse pequenas nuvens de elétrons das quais poderosas forças emanam. À medida que fossemos caminhando em direção ao centro da bolha encontraríamos o núcleo, mais ou menos do tamanho de uma uva, onde as partículas subatômicas (prótons e nêutrons) seriam como as sementes, unidas por uma enorme energia, enquanto as nuvens de elétrons estariam distantes dele cerca de 2 quilômetros. Machado e Pinto (2011) também nos trazem uma ilustração semelhante. Eles nos falam para imaginarmos o núcleo do átomo como uma cabeça de alfinete ou mesmo de um palito de fósforo e assim, o átomo como um todo (incluindo a eletrosfera) seria aproximadamente do tamanho do anel do estádio de futebol Maracanã.

Das partículas que compõem o núcleo, uma é carregada positivamente (prótons) e a outra não possui carga, é neutra (nêutrons). Os elétrons são carregados negativamente, ao ponto que a quantidade destes e dos prótons

sejam iguais para que a estabilidade do átomo seja mantida, quando a quantidade de elétrons é alterada, há a formação dos íons.

Esses elétrons estão dispostos em nuvens vagas, sem uma posição definida. Isso é mostrado pelo Princípio da Incerteza de Heisenberg, no qual é “impossível especificar, simultaneamente e com precisão que se quiser, o momento e a posição de uma partícula.” (ATKINS, 1997, v. 2, p.19) Portanto, devemos pensar não na posição do elétron, mas na densidade de probabilidade de encontrá-lo num determinado lugar.

A ciência formal que rege nossos pensamentos e ensaios científicos é conhecida como *mecânica clássica*, porém, esta é insuficiente quando “as coisas são vistas na escala do universo e quando as coisas são vistas em uma escala atômica.” (Russel, 2009, p.92, tradução nossa) É com a escala atômica que estamos trabalhando para explicar as cores dos nossos fogos de artifício e esta, então, foge as regras da mecânica clássica e é regida agora pelas ordens da *mecânica quântica*. O Princípio da Incerteza, determinado por Heisenberg é o próprio coração dessa diferença, pois “a mecânica clássica admitia, falsamente, que a posição e o momento linear de uma partícula podiam ser especificados simultaneamente com a precisão que se quisesse.” (ATKINS, 1997, v. 2, p. 21) Porém, como já vimos no conceito estabelecido pelo princípio da incerteza, isso não é verdade, a mecânica quântica agora mostra que estes são complementares, “que temos que escolher entre especificar a posição à custa do momento ou o momento à custa da posição.” (ATKINS, 1997, v. 2, p. 21)

Os estudos que levaram à origem da mecânica quântica se iniciaram com o estudo da radiação do corpo negro. Ellern (1968, p.88) nos fala que um corpo negro é definido como “um sólido que emite e absorve (mas não reflete) radiação de todos os comprimentos de onda” (tradução nossa). A radiação do corpo negro é regida por algumas leis. A *Lei do Deslocamento de Wien* nos mostra que a emissão de energia por um corpo negro “se desloca para os comprimentos de onda mais curtos à medida que a temperatura se eleva.” (ATKINS, 1997, v. 2, p. 4) Outra característica desse objeto nos é dada pela *Lei de Stefan-Boltzmann* no qual a excitância (potência emitida por uma região de uma superfície dividida pela área da superfície, M) é proporcional à quarta potência da temperatura, medida em Kelvin (ATKINS, 1997, v.2; ELLERN,

1968), como podemos ver na Equação 3.1 (σ , é a constante de Stefan-Boltzmann que vale: $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$):

$$\epsilon = \sigma T^4$$

Equação 3.1: Stefan-Boltzmann

O estudo dos corpos negros foi algo intrigante para os estudiosos da época (século XIX). Os físicos Lorde Rayleigh e James Jeans chegaram a uma lei que ganharam seu nome posteriormente (*Lei de Rayleigh-Jeans*) na qual imaginaram o campo eletromagnético como um conjunto de osciladores com todas as frequências possíveis e observou-se a presença de radiação com uma frequência específica, significando que o oscilador eletrônico correspondente a esta frequência específica teria sido excitado (ATKINS, 1997, v. 2). Porém, esta lei funciona apenas para comprimentos de onda grandes (baixas frequências), pois de acordo com seu escopo, osciladores de comprimento de onda muito curto (correspondentes à luz ultravioleta, raios X e raios γ), estariam excitados fortemente mesmo à temperatura ambiente, o que é absurdo, gerando o que foi conhecido como *catástrofe do ultravioleta*, que significa grande radiação na região de alta frequência do espectro eletromagnético (ATKINS, 1997, v. 2).

A Quantização da Energia

Em 1900, o físico alemão Max Planck “descobriu que poderia explicar as observações experimentais (de Rayleigh-Jeans) se admitisse que a energia de cada oscilador eletromagnético está limitada a certos valores discretos e não pode ser alterado arbitrariamente.” (ATKINS, 1997, v. 2, p. 5) Essa proposta bate de frente com o ponto de vista da mecânica clássica que admitia que todas as energias possíveis são permitidas, e assim como o Princípio da Incerteza de Heisenberg, “a limitação de os valores de energia pertencerem a um conjunto de valores discretos” (ATKINS, 1997, v. 2, p. 5), ou seja, possuírem uma energia *quantizada*, marca a principal diferença entre a mecânica clássica e a quântica.

Com esse entendimento, podemos compreender o que Russel (2009) nos fala. Ele nos diz que aquelas nuvens de elétrons do começo do capítulo estão dispostas em níveis discretos de energia ao redor do núcleo, onde à medida que as distâncias desses níveis aumentam em relação ao núcleo, suas energias também aumentam, mas como vimos, não aleatoriamente, e sim, em

energias quantizadas. Esses níveis discretos de energia ao redor do núcleo povoado por elétrons são, melhor conhecidos, como *orbitais*. É sabido também, que em cada orbital há um número limite de elétrons, por exemplo, na primeira camada podem-se conter dois elétrons e na segunda, oito elétrons (RUSSEL, 2009). De forma simplificada, o modelo atômico de Bohr nos explica que esses elétrons giram ao redor do núcleo ocupando certos níveis ou camadas e que esses níveis possuem um valor determinado de energia, aonde o salto de um elétron de um nível de energia para o outro nos garante o fenômeno da luz (FERREIRA, DAVID e SILVA, 2008).

Então quer dizer que chegamos de fato na explicação de como obtemos a luz e as cores dos fogos de artifício? Sim! Portanto, vamos aprofundar essa explicação para não restar nenhuma dúvida acerca disso.

A luz e as cores (os espectros de emissão)

“O salto de um elétron de um nível de energia para o outro nos garante o fenômeno da luz.” Essa frase nos deixa com uma pergunta intrigante: como assim um “salto” de um elétron e, simplesmente, haja a luz? Vamos lá!

Vimos que esses elétrons se encontram em orbitais específicos e com energias fixas, não aleatórias. Quando um elétron ganha uma quantidade de energia seja por aquecimento, energia elétrica ou impacto, ele salta para um maior nível de energia dentro do átomo, um nível de energia preciso, quantizado e dizemos então, que o átomo ficou excitado (RUSSEL, 2009). Quando o átomo relaxa, o elétron retorna para o nível de menor energia, liberando na forma de luz essa energia anteriormente ganhada. Podemos entender por luz, não só a radiação gama espectral estreita que constitui a luz visível (a luz que enxergamos), mas também as porções de luz ultravioleta (UV) e infravermelho (IR), que são de grande importância e aplicação no meio científico (ELLERN, 1968).

Entendemos então como se dá a luz e que ela é composta por porções diferentes. A porção que nos interessa para os fogos de artifício é a porção da luz visível, pois é através dela que podemos identificar e caracterizar as cores que tanto nos encanta. Nesse processo que nos leva à luz, a energia total é conservada, nos levando a Equação 3.2:

$$\Delta E = h\nu$$

Onde, ν é a frequência de radiação relacionada a diferença de energia, ΔE , pela constante h , conhecida como constante de Planck (RUSSEL, 2009). Essa equação formulada por Planck é a representação matemática/teórica das observações experimentais acerca da energia limitada a valores discretos do oscilador eletromagnético (ATKINS, 1997, v. 2).

Cada elemento químico, quando passa pelo processo de excitação e relaxação explicado acima, emite luz com diferentes comprimentos de onda e diferentes e específicas cores. Como já vimos no capítulo 1, diversos compostos dão as diferentes cores aos fogos de artifício, como, por exemplo, nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) que dá a cor azul e nitrato de bário ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) que dá a cor verde. Essas “cores emitidas por um elemento funcionam como um tipo de carteira de identidade dele” (MACHADO e PINTO, 2011). Essa identidade pode ser verificada através da *espectroscopia* “que é a detecção e análise da radiação eletromagnética emitida por uma espécie” (Atkins, 1997, v. 2, p. 50). Os espectros de emissão de cada elemento possuem valores discretos, assim como a energia dos átomos (energia quantizada), e valores únicos, característicos de cada elemento. A Figura 3.1 nos mostra os espectros atômicos de emissão de quatro elementos diferentes, onde os observamos como um conjunto de linhas discretas, específicas para cada elemento. Essa diferença é apresentada na localização das linhas (comprimento de onda que ela emite) e na quantidade delas por espectro.

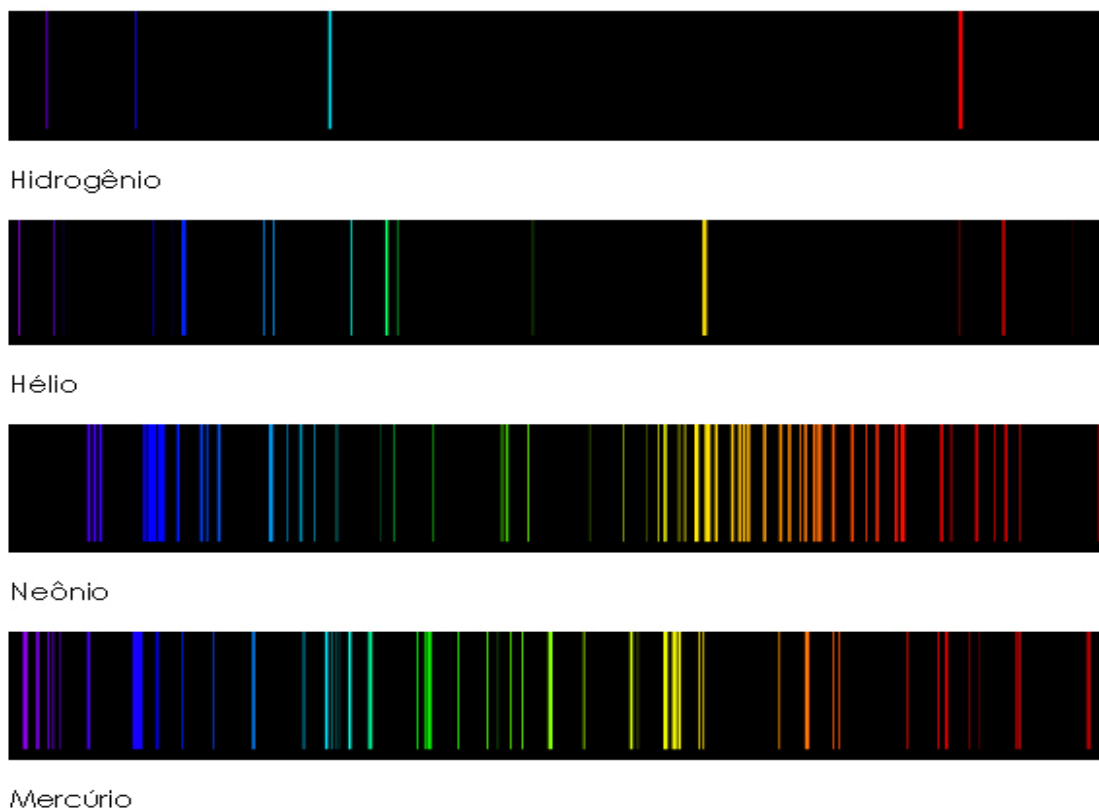


Figura 3.1: Espectros de emissão atômica do Hidrogênio, Hélio, Neônio e Mercúrio.

Vimos então que as cores dos fogos de artifício são explicadas por saltos quânticos proporcionados pelos elétrons de um orbital para o outro com ganho e liberação de energia. Vimos também, que os espectros de emissão atômica comprovam essa teoria, caracterizando individualmente cada tipo de átomo e que o modelo atômico de Bohr é um modelo atômico muito aplicável para explicação de tal fenômeno.

Podemos de alguma forma, então, utilizar os fogos de artifício e suas características como meios de abordagem em sala de aula para explanação de conteúdos, como o de modelos atômicos, onde a explicação da formação de luz e cores é o grande diferencial do modelo atômico de Bohr em relação aos outros. Portanto, podemos entender e desenvolver formas dessa aplicação e metodologias que nos levem à construção da relação ensino-aprendizagem utilizando os fogos de artifício.

Capítulo 4

Os Fogos de Artifício em Sala de Aula

Ao longo desse trabalho foram retratados diversos aspectos dos fogos de artifício como sua história, seus tipos, suas características, suas cores, etc. Mas um aspecto interessantíssimo sobre estes e que ainda não foi relatado, é a possibilidade de sua utilização como temática em sala de aula para o ensino de Ciências. Suas inúmeras especificidades podem ser abordadas em sala de aula de modo a inserir o aluno no mundo científico associando-o ao seu cotidiano, de uma maneira interdisciplinar, prática e porque não, divertida. Vejamos então como podemos utilizar essa “ferramenta”, chamada fogos de artifício, no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem escolar.

Os fogos de artifício numa abordagem CTS (ciência – tecnologia – sociedade) e interdisciplinar voltada para o ensino

Os fogos de artifício podem ser utilizados como temática principal no ensino de conteúdos não só de Química, mas de Ciências em geral. Isso nos mostra que além de poderem ser retratados em sala de aula como algo que é de fora da sala de aula, como algo que faz parte da vida cotidiana dos alunos (a maioria dos alunos já presenciou, mesmo que pela televisão, uma queima de fogos durante o Reveillon, um evento de celebridades ou até mesmo, um jogo de futebol), eles podem também ser tratados de forma integrada com outras disciplinas como a Física, a Matemática, a História, caracterizando um processo de *interdisciplinaridade*.

De acordo com Sá e Silva (2005) a “interdisciplinaridade aplicada ao ensino busca promover a compreensão da unidade na diversidade, através da visão do conjunto que possa garantir ao ser humano o encontro do saber na multiplicidade de conhecimentos.” A interdisciplinaridade busca o estudo de um tema em conjunto com todas as áreas na qual esse tema possa se enquadrar, sem perder em sua essência o conteúdo central que se quer transmitir. Etges (1995)¹² citado por Sá e Silva nos esclarece esse fato. Ele nos afirma “que a interdisciplinaridade na escola não pode consistir na criação de uma mistura de

¹² ETGES, N. J. Ciência, interdisciplinaridade e educação. In: JANTSCH, A. P.; BIANCHETTI, L. (orgs). A interdisciplinaridade – para além da filosofia do sujeito. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

conteúdos ou métodos de diferentes disciplinas”, ou seja, o conteúdo central deve ser mantido, porém deve ser assimilado, comparado, contextualizado em situações e em outros conteúdos nos quais ele se enquadra e de forma organizada, sem consistir de fato “de uma mistura de conteúdos”.

Uma abordagem conjunta à interdisciplinaridade que pode ser usada em sala de aula tendo os fogos de artifício como tema principal é a abordagem CTS. Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988)¹³, citado por Santos e Mortimer (2002), nos conta que o ensino CTS “pode ser caracterizado como o ensino do conteúdo de ciências no contexto autêntico do seu meio tecnológico e social, no qual os estudantes integram o conhecimento científico com a tecnologia e o mundo social de suas experiências do dia-a-dia.” Com esse conceito pode-se aprender o conteúdo científico se utilizando de meios tecnológicos que são inúmeros, hoje em dia, atrelado aos acontecimentos e situações do cotidiano dos alunos.

Solomon (1993)¹⁴, citado por Santos e Mortimer (2002), nos afirma que os conteúdos dos currículos montados em uma abordagem CTS, “tem um caráter multidisciplinar.” A multidisciplinaridade é um conceito ainda mais abrangente do que a interdisciplinaridade. Vê-se a interdisciplinaridade como uma relação entre duas disciplinas, uma relação linear, já a multidisciplinaridade, envolve um escopo de diversas disciplinas, abrangendo uma área maior de conhecimento. Percebemos então, uma grande relação entre a interdisciplinaridade e a abordagem CTS. A união desses propicia um ensino de Ciências, e mais especificamente, de Química, no qual o aluno é participante ativo do processo de aprendizagem, no qual o aluno consegue ver na prática o que aprende na teoria em sala de aula.

Paixão e Moura (2005) nos trazem um exemplo vivo do uso dos fogos de artifício com uma abordagem CTS e interdisciplinar para o ensino de Ciências. Seu trabalho consistiu no desenvolvimento de uma temática com o nome de “Estrelas, radiação eletromagnética e fogos de artifício”, abordada de forma CTS por uma professora de uma sala de aula com 29 alunos do 10º ano do Ensino Secundário Português, que é equivalente ao nosso 1º ano do Ensino

¹³ HOFSTEIN, A., AIKENHEAD, G., RIQUARTS, K. (1988). Discussions over STS at the fourth IOSTE symposium. *International Journal of Science Education*, v. 10, n. 4, p.357-366.

¹⁴ SOLOMON, J. (1993). *Teaching science, technology and society*. Buckingham: Open University Press.

Médio (idade de 15 anos) (PAIXÃO e MOURA, 2005). Na seguinte citação retirada de seu trabalho, elas deixam bem clara a importância da abordagem CTS no ensino de Ciências:

“As atuais perspectivas da Didática das Ciências defendem aprendizagens que se tornem úteis no dia-a-dia, com vista à formação de cidadãos, individual e socialmente mais ativos, cientificamente mais cultos e participativos. Abandona-se um processo curricular exaustivamente estruturado na lógica dos conteúdos e procuram-se centros de interesse nas problemáticas da sociedade e da tecnologia envolvendo componentes de proximidade dos alunos. Trata-se de envolver os alunos, não só do ponto de vista cognitivo, mas igualmente afetivo, ético e cultural. O objetivo do ensino das Ciências é a compreensão da Ciência e da Tecnologia, das relações entre uma e a outra e suas implicações na Sociedade, ou seja, a perspectiva CTS...” (PAIXÃO e MOURA, 2005, p. 1)

Esse estudo foi feito interdisciplinarmente entre as disciplinas de Química e Física e buscou-se estabelecer associações entre as coisas do cotidiano com os conceitos estudados em sala, como “a que são devidas as cores dos fogos de artifício?” e “qual é a temperatura das estrelas?” (PAIXÃO e MOURA, 2005). A utilização de fogos de artifício nesse trabalho foi estratégica, pois na região em que foi estabelecido o estudo há uma indústria de pirotecnia e essa visão de estabelecer relações com o ambiente em que a escola está inserida, é o primordial para o sucesso de uma abordagem CTS, pois não adianta se falar sobre árvores do cerrado na caatinga ou sobre indústrias numa região agrícola, os alunos não conseguirão assimilá-los à sua vivência.

O trabalho foi desenvolvido num conjunto de seis aulas onde os alunos realizaram pesquisas bibliográficas e atividades experimentais em resposta às perguntas colocadas no parágrafo acima; houve experimentos com controle de televisão para estudo da radiação infravermelha e uma simulação de pequenos fogos de artifício, “por adição de sais à chama de algodão embebido em etanol num cadinho de porcelana” (PAIXÃO e MOURA, 2005). Com esse último foi possível perceber como se dão as diferentes cores dos fogos, que são devido aos diferentes elementos dos sais que o compõem, pois cada elemento químico emite radiações específicas, como impressões digitais (a explicação mais detalhada já foi dada no capítulo anterior).

Ferreira, David e Silva (2008) nos trazem em seu módulo didático um experimento praticamente igual ao utilizado no trabalho de Paixão e Moura (2005) no qual alguns sais (sulfato de cobre, cloreto de sódio, etc.) são aquecidos em algodões embebidos de álcool e diferentes cores são obtidas. Da mesma forma, no módulo didático um dos objetivos desse experimento é associar as cores obtidas nas chamas com as cores que são obtidas nos fogos de artifício e outro, é utilizar o modelo atômico de Bohr para a explicação desse fenômeno.

Retomando o trabalho de Paixão e Moura (2005), acerca da avaliação através da abordagem CTS e interdisciplinar, utilizaram-se diversas componentes para avaliação dos alunos. Componentes essas, que abrangessem todas as atividades por eles desenvolvidas, se enquadrando aos diferentes procedimentos por eles desenvolvidos, obtendo-se resultados dos alunos através de relatórios das atividades, planos desenvolvidos para as atividades experimentais, apresentações de pesquisas, respostas orais e escritas, etc. mostrando assim, a versatilidade, diversidade e eficiência no processo de construção da relação ensino-aprendizagem que tais abordagens podem ocasionar.

A partir desses esclarecimentos acerca da abordagem CTS e interdisciplinar e do testemunho da viabilidade e eficiência desses métodos para o ensino de Ciências, buscou-se desenvolver um texto informativo voltado para alunos do Ensino Médio sobre os fogos de artifício, com informações desde sua história, até as explicações químicas de suas cores. Buscou-se no texto uma linguagem menos formal para aproximação com a idade que os alunos nessa época escolar se encontram (na faixa de 15 a 17 anos), abordando o assunto de forma a integrá-lo com outras disciplinas e ainda, associando-o ao cotidiano do aluno, tendo em vista seu papel tecnológico e social. O texto encontra-se no Apêndice I.

É impressionante como nem nos damos conta da riqueza que coisas que fazem parte naturalmente de nossas vidas e, que às vezes, nem damos importância, têm. Toda virada de ano nos deleitamos com imensos shows pirotécnicos e não imaginamos toda a ciência que ocorre por trás de todos aqueles efeitos. Uma história grandiosa, teorias e procedimentos químicos e físicos e até aplicações em sala de aula, compõem tal riqueza. É notável então,

que o encanto que os fogos de artifício nos proporcionam pode ir além das lindas cores e formatos, pode ir ao prazer de conhecer e entender pequenos “mistérios” da vida através deles.

Considerações Finais

Os fogos de artifício são verdadeiras fontes de conhecimento.

Sua história muito rica nos remete à sua origem, cerca de dois mil anos atrás, sendo confundida com a origem da pólvora, seu principal combustível. Suas descobertas, tanto dos fogos quanto da pólvora, não têm um local bem certo, mas é normalmente creditada aos chineses. Ao longo dos séculos os fogos foram usados com diversas finalidades, desde armas de guerra e sinalização a entretenimento, através de grandiosos shows pirotécnicos, que são uma de suas maiores utilidades hoje em dia, principalmente nas festas de virada de ano, com explosões de fogos com duração de vários minutos.

Com o passar do tempo, além de suas utilidades, seus tipos, formas e cores foram ganhando novas versões. Atualmente, existem diversos tipos de fogos, enquadrados em diversas classificações e apresentando inúmeras características. Uns são de uso corriqueiro e podem ser manuseados por qualquer pessoa, como os estalinhos de salão, muito usados nas festas juninas, já outros, precisam de todo um aparato de segurança, manuseados por pessoas especializadas e em locais abertos, pois levam grande quantidade de pólvora e provocam grandes explosões, como os foguetes.

Outros fogos de artifício, como as fontes, já têm como sua principal atratividade, as luzes e cores. Cores essas que são, na verdade, a principal atração da maioria dos fogos. Essas praticamente não existiam nos primeiros fogos, não fugindo muito “do dourado ou prateado, devido à mistura restrita dos componentes (pólvora, carvão e limalha de ferro)”. Com o passar do tempo, a descoberta de sais de diferentes elementos, propiciaram a descoberta de novas cores para os fogos e os tornaram cada vez mais especiais. Com o desenvolvimento da mecânica quântica e a descoberta dos espectros de emissão, que funcionam como verdadeiras “impressões digitais” dos elementos químicos, pode-se explicar o porquê dessas variedades de cores.

O modelo atômico de Bohr, ensinado para alunos do Ensino Médio, é uma forma mais simples, mas não errada, para explicar a existência das diferentes cores. Sendo assim, podemos utilizar os fogos de artifício de forma interdisciplinar com uma abordagem CTS, trazendo algo do cotidiano dos alunos (os fogos de artifício) para dentro da sala de aula, e ensinar Química,

Física e outras disciplinas, mostrando a versatilidade dos fogos de artifício, até como instrumento para o ensino.

Além dessa função de mostrar os fogos de artifício como tema central para abordagem de conteúdos científicos em sala de aula, buscou-se com esse trabalho aproximar as pessoas dos fogos de artifício, tentando apresentar esses artefatos como obra de pura ciência, mas sem retirar o encanto de sua magia, que é o que nos faz admirar tanto esses objetos incandescentes.

Retira-se também desse trabalho, um texto com fim fielmente educativo e didático para ser utilizado por professores e alunos na prática do ensino de ciências, onde se aborda de forma geral a história e a ciência por trás dos fogos de artifício e como usá-lo em sala de aula para o desenvolvimento da relação de ensino-aprendizagem.

Finalizando, creio que para mim, esse trabalho, além de todo o conhecimento acadêmico que me proporcionou, me fez perceber que pequenas coisas ao nosso redor e que fazem parte de nossa rotina há anos são cercados de ciência. Uma ciência muitas vezes simples, mas altamente rica em detalhes e em beleza. Percebo que a partir de agora, não conseguirei olhar para o mais simples objeto sem imaginar toda a ciência por trás que o faz ter aquelas características.

Os fogos de artifício há tanto tempo me encantam com suas cores e formas e agora, me encantam ainda mais com toda a sua ciência.

Referências

ATKINS, P. W., **Físico-Química**, 6 ed., LTC, 1997, v. 1 e 2.

Brasília, CBM do DF. Norma Técnica 08. Fogos de Artifício, 2002.

CALVERT, J. B. **Flash! Bang! Whiz! An introduction to propellants, explosives, pyrotechnics and fireworks**, 21 dezembro 2002. Disponível em: <<http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/bang.htm>> Acesso em: 2 maio 2012

ELLERN, H.; *Military and Civilian Pyrotechnics*; Chemical Publishing Company Inc., New York, 1968

FERREIRA L. R. B. V.; DAVID M. A.; SILVA P. S., **Modelos e Representações do Átomo**. *Módulo Didático de Química Nº 13*, 2008. Disponível em: <crv.educacao.mg.gov.br/SISTEMA.../quimica/.../md-em-qu-23.pdf> Acesso em: 03 jul. 2012

GUITIÁN, R. **Evolução dos conceitos de polímero e de polimerização**. Disponível em: <<http://allchemistry.iq.usp.br/pub/metabolizando/pdf/bb65001f.pdf>> Acesso em: 14 jun. 2012

JOHNSON, W. **FIREWORKS AND FIREMASTERS OF ENGLAND, 1662-1856**. *Int. J. Mech. Sci. Vol. 36, No: 11, pp. 1061 1067*, 1994.

JUDITH DE OLIVEIRA. **Estalos de Salão**. Resposta Técnica, Minas Gerais, 2007.

MAAR, J. H. **Justus Von Liebig, 1803-1873. Parte 1: Vida, Personalidade, Pensamento**. *Química Nova*, Vol. 29, No. 5, 1129-1137, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n5/31082.pdf>> Acesso em: 14 jun. 2012

MACHADO, S. P. e PINTO, A. C. A. **Química e a Arte da Pirotecnia**. *CIÊNCIA HOJE*, V. 48, p. 288, 2011.

MIGUEZ, Gustavo. **Manual de pirotecnia: fogos de artifício**. Disponível em: <<http://student.dei.uc.pt/~peter/manual/pag6.htm>>. Acesso em: 14 jun. 2012.

PAIXÃO, M. F.; MOURA, H.; *Estrelas, Radiação Eletromagnética e Fogo de Artifício numa Abordagem CTS para o Ensino Secundário*; VII CONGRESO ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. NÚMERO EXTRA. 2005.

PORTO, B. F. **Taxa de Combustão**. 2007. Disponível em: <http://www.yacamim.net/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=32> Acesso em: 22 maio 2012

REG/T 02 – FOGOS DE ARTIFÍCIO, PIROTÉCNICOS, ARTIFÍCIOS PIROTÉCNICOS E ARTEFATOS SIMILARES.

RUSSEL, M.S. **The Chemistry of Fireworks**. London: Royal Society of Chemistry, 2009.

SÁ, H. C. A.; SILVA, R. R.; *A Interdisciplinaridade e a Educação*; XIV Encontro Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino de Química - I Simpósio da Licenciatura Plena em Ciências Naturais e Matemática – V Semana da Química, Cuiabá, 2005.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F.; *Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira*; ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências, v. 2, nº 2, dezembro, 2002.

São Paulo, PM do E de SP – CB. Instrução Técnica 030. Fogos de Artifício, 2004.

São Paulo, PM do E de SP – CB. Instrução Técnica 030. Comércio de Fogos de Artifício, 2010.

Vasconcelos, F. C. G. C.; Silva, L. P.; Almeida, M. A. V., Um pouco da história dos explosivos: da pólvora ao Prêmio Nobel. In: XV Encontro Nacional de Ensino de Química, 2010, Brasília. **Um pouco da história dos explosivos: da pólvora ao Prêmio Nobel**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.xveneq2010.unb.br/resumos/R0011-1.pdf>> Acesso em: 14 maio 2012

WERRETT, S. **Making fire work: pyrotechnics and natural philosophy**. *Endeavour*, Vol.32, No.1, Elsevier, 2008.

Apêndice I

Fogos de Artifício – História, Ciência e Sociedade

Os fogos de artifício não possuem uma data certa em relação a sua origem. Seu início é entrelaçado com o de diversas instrumentações que utilizavam a *pólvora* como combustível.

A origem da pólvora também é muito imprecisa. Acredita-se que por volta do século VIII d.C. alquimistas chineses, entre outros, à procura do elixir da vida, fizeram diversas misturas contendo todos os tipos de substâncias, incluindo óleos, mel e cera de abelha e dois ingredientes especiais: o salitre (nitrato de potássio, KNO_3) e o enxofre. Surpreendentemente, a mistura entre os compostos orgânicos contidos no mel com o salitre e o enxofre gerou uma explosão e a partir daí, foi trabalhado em proporções exatas até o encontro da melhor formulação para a constituição da pólvora. Com o tempo, o mel foi trocado pelo carvão ativado e se criou a chamada “pólvora verdadeira” (**Figura 1**), sua purificação e formulação ideal foram desenvolvidas por Roger Bacon, um experimentador europeu (**Figura 2**).

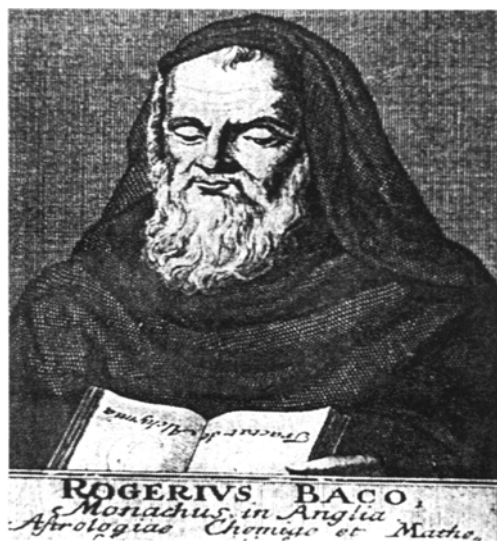


Figura 2: Roger Bacon



Figura 1: pólvora verdadeira

Ao longo dos séculos, temos diversos relatos do uso da pólvora. Em 800 d.C., um texto taoísta nos relata que misturar enxofre, rosálgar (óxido de arsênio) e salitre com mel, é altamente perigoso, pois pode causar queimaduras; por volta de 1000 d.C., chineses usavam um propulsor semelhante à pólvora em foguetes; outro relato nos mostra a descrição da formulação da pólvora por árabes; em 1250, um norueguês menciona em seu capítulo militar o uso da mistura de carvão e salitre como arma. Com tamanho poder de fogo, como vimos nesse testemunho norueguês, a pólvora começou a

ser utilizado para fins bélicos, servindo como propulsor em diversos foguetes, armas e canhões por todo o mundo.

Por volta do século XIV, artesãos, que só a partir do século XVI começaram a ser denominados de *fireworkes* (“trabalhadores do fogo”) e *firemasters* (“mestres do fogo”), começaram a desenvolver os primeiros fogos de artifício, propriamente como conhecemos hoje, onde esses eram utilizados tanto como armamento, como entretenimento, durante festividades noturnas. A partir daí, diversos relatos são obtidos da utilização de fogos de artifício: em 1576, um espetáculo pirotécnico movimentou a noite durante eleição de um novo Papa no Castelo Santo Ângelo (**Figura 3** - feita pelo gravador Ambroglio Giovanni Brambilla no festival Girandola, em Roma); em 1605 a compra ou manutenção de fogos de artifício foi proibida devido a tentativa de Guy Fawkes em tentar explodir as Casas do Parlamento inglês utilizando 36 barris de pólvora; Já na metade do século XVIII, Benjamin Robin e outros mencionam “A celebração da paz final de 1749”, em Londres, com uma exposição de fogos de artifício; no início do século XIX, William Congreve (1772-1828), dirigiu, pessoalmente, a emissão de seus foguetes contra o cerco de Copenhague e conseguiu tal feito, devido ao desenvolvimento de foguetes de alto poder explosivo e incendiário, mais fortes do que os existentes na época; e ainda na primeira metade deste século, Claude Fortuné Ruggieri, mostrou que a pirotecnia exigia conhecimentos de Física e Química, sendo necessário mais do que conhecimentos arquitetônicos e artísticos para a utilização desta, fazendo com que a pirotecnia então, fosse vista como uma forma de “Química aplicada”.

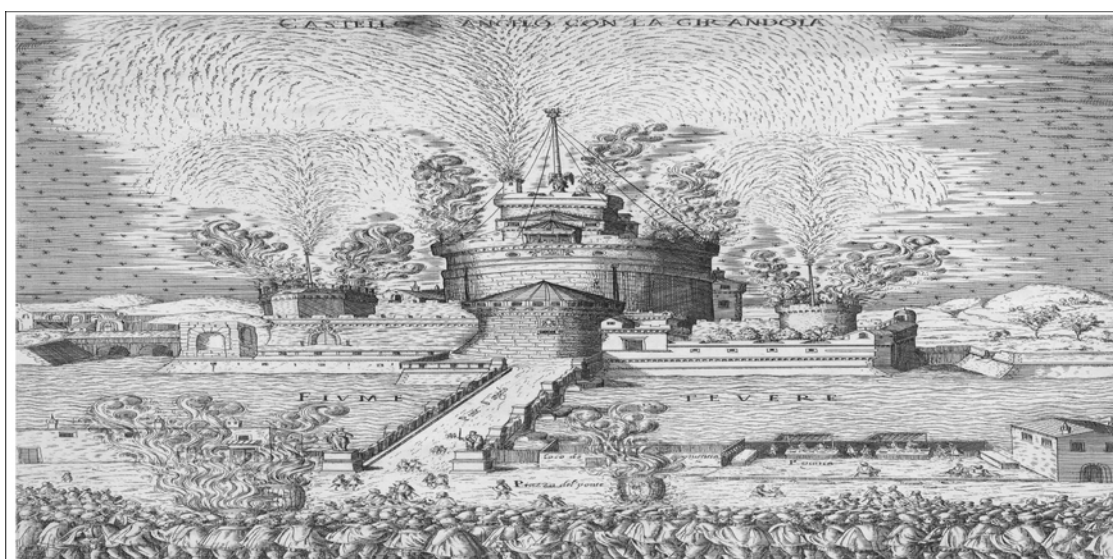


Figura 3: Gravura do Castelo Santo Ângelo feita por Ambroglio Giovanni Brambilla no festival Girandola, em Roma, para eleição do novo Papa.

Como explicar as cores dos fogos de artifício?

Na origem dos fogos de artifício as cores eram limitadas, geralmente, ao dourado e ao prateado, devido à mistura restrita dos componentes (pólvora, carvão e limalha de ferro). Com o passar do tempo, os fogos passaram a adquirir novas cores. Em 1786, o químico francês Claude Louis Berthollet (1748-1822) descobriu o clorato de potássio (KClO_3) que proporcionou grande luminosidade e brilho aos fogos de artifício; anteriormente, no século XVII, mais especificamente, no ano de 1635, em seu livro sobre fogos de artifício, John Bate relata o uso de sulfeto de antimônio para a obtenção da cor azul e também, comenta do uso de pequenas quantidades de ferro para dar uma cauda mais luminosa aos foguetes; no século XIX, Claude-Fortuné Ruggieri, um pirotécnico francês, mais especificamente no ano de 1801, descreve a utilização de sais de metais para a produção de chamas coloridas; nos anos de 1865 e 1894, as substâncias magnésio e alumínio foram acrescentados a mistura pirotécnica proporcionando faíscas brancas e uma melhora do brilho; ainda no século XIX, a empresa Brock, fundada no século anterior por John Brock, para uma aclamada exposição no Palácio de Cristal (Inglaterra), estabeleceu um padrão inédito de brilhos e cores, pela introdução de pós metálicos e cloratos que são utilizados até hoje para esses fins.

Mas então, como a adição de todas essas substâncias simples e compostas podem dar tantas cores diferentes aos fogos?

Antes de explicarmos veementemente, vamos entender um pouco dos átomos. Os átomos são invisíveis aos nossos olhos e há séculos, vem sendo representado por modelos. Modelos esses que com o passar dos anos vão se aperfeiçoando e conseguindo explicar cada vez mais fenômenos. Machado e Pinto (2011) nos trazem uma analogia para facilitar a compreensão do modelo atômico. Eles nos falam para imaginarmos o núcleo do átomo como uma cabeça de alfinete ou mesmo de um palito de fósforo e assim, o átomo como um todo (incluindo a eletrosfera) seria aproximadamente do tamanho do anel do estádio de futebol Maracanã. Essa representação nos conta do núcleo e da eletrosfera, que compõem o átomo como um todo. O núcleo é composto pelos prótons, que possuem carga positiva e pelos nêutrons, que possuem carga neutra. A eletrosfera é composta pelos elétrons, que possuem carga

negativa. Essa eletrosfera fica ao redor do núcleo e é responsável, pelas ligações entre os elementos. Como falamos antes, não se sabia que os átomos eram assim, diversos modelos foram surgindo e nesse texto, vamos especificar apenas um desses modelos, pois é ele que vai nos ajudar a explicar o fenômeno das cores, o *modelo atômico de Bohr*.

Sabe-se que os elétrons presentes na atmosfera não ocupam lugares aleatórios e sim, lugares determinados, possuindo assim, energias quantizadas. Esses locais específicos que os elétrons ocupam, são chamados de orbitas ou camadas. É sabido também, que em cada orbita há um número limite de elétrons, por exemplo, na primeira camada pode-se conter dois elétrons e na segunda, oito elétrons (**Figura 4**).

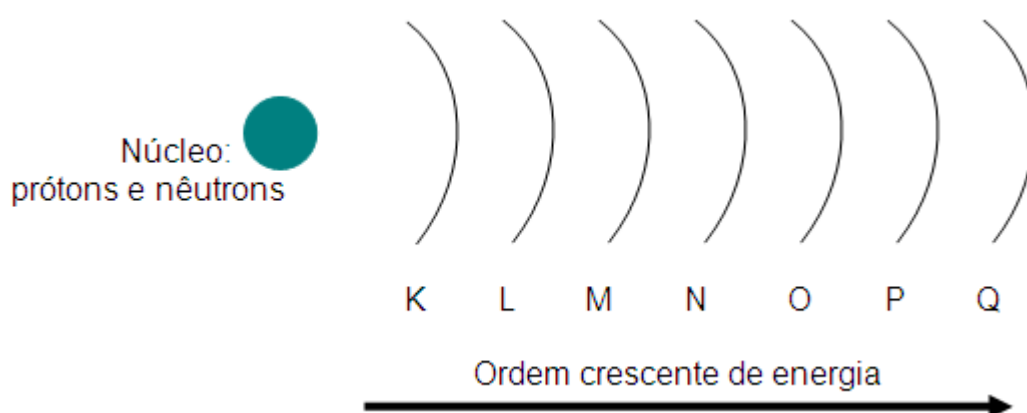


Figura 4: Representação das camadas de energia do modelo atômico de Bohr.

Niels Henrick David Bohr foi um físico dinamarquês nascido na cidade de Copenhague no dia 7 de outubro de 1885 e contribuiu ferrenhamente no desenvolvimento da teoria atômica. De forma simplificada, seu modelo atômico nos explica que esses elétrons giram ao redor do núcleo ocupando certos níveis ou camadas e que esses possuem um valor determinado de energia, aonde o salto de um elétron de um nível de energia para o outro nos garante o fenômeno da luz. Vamos nos aprofundar mais...

Quando um elétron ganha uma quantidade de energia seja por aquecimento, energia elétrica ou impacto, ele salta para um maior nível de energia dentro do átomo, um nível de energia preciso, quantizado e dizemos então, que o átomo ficou excitado. Quando o átomo relaxa, o elétron retorna para o nível de menor energia, liberando na forma de luz essa energia anteriormente ganhada. Podemos entender por luz, não só a radiação da faixa espectral estreita que constitui a luz visível (a luz que enxergamos), mas também as porções de luz ultravioleta (UV) e infravermelho (IR), que são de grande importância e aplicação no meio científico.

Para então entendermos de vez como se dá a luz dos fogos de artifício, temos que compreender que cada átomo, quando passa pelo processo de excitação e relaxação explicado acima, emite luz com diferentes comprimentos de onda e cores específicas. Diversas substâncias, portanto, dão as diferentes cores aos fogos de artifício, pois cada um emite num comprimento de onda diferente quando é excitado, e logo, emite uma cor diferente, como podemos ver na **Tabela 1** a seguir:

Substâncias simples e compostas	Cores
Alumínio (Al)	Prata e branco
Cálcio (Ca)	Laranja
Lítio (Li)	Vermelho
Sódio (Na)	Amarelo
Fósforo (P)	Brilho
Titânio (Ti)	Faíscas
Clorato de Potássio (KClO_3)	Realça as cores
Sulfeto de Antimônio (Sb_2S_3)	Azul
Limalha de ferro e aço	Faíscas brancas e vermelhas
Limalha de cobre vermelho	Faíscas esverdeadas
Limalha de zinco	Faíscas azuis
Âmbar amarelo (resina orgânica)	Chama amarelada
Lâmpada negra (fuligem)	Chama avermelhada
Nitrato de Cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)	Chama azul
Nitrato de Bário ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)	Chama verde

Tabela 1: Substâncias simples e compostas e suas respectivas cores utilizadas nos fogos de artifício.

Um experimento muito interessante que podemos usar para exemplificar o que acontece nos fogos de artifício é o *teste da chama*.

Precisamos dos seguintes materiais:

Teste da chama

- . 4 vidros de relógio;
- . caixinha de fósforo;
- . algodão e;
- . representação cartográfica do espectro luminoso.

Dos seguintes reagentes:

- . sulfato de cobre;

- . cloreto de sódio;
- . cloreto de bário;
- . hidróxido de cálcio;
- . álcool e;
- . água.

Para proceder ao experimento:

Coloque 4 chumaços de algodão embebidos em água, um em cada vidro de relógio. Posteriormente, em cada vidro de relógio coloca-se um dos reagentes - sulfato de cobre, cloreto de sódio, cloreto de bário e hidróxido de cálcio - fazendo com que cada vidro fique com um algodão e um reagente. Borrifa-se um pouco de álcool e finalmente, coloca-se fogo com o fósforo e observa-se o que acontece.

Para recolhimento dos dados, é importante que o aluno anote cada reagente e suas respectivas cores durante a queima.

Percebe-se então, que como nos fogos de artifício, cada cor é emitida por diferentes substâncias, ou seja, as cores dos fogos dependem de sua composição.

Considerações Finais

Os fogos de artifício são uma verdadeira fonte de ciência e emoções. Descobrir que por trás de todos aqueles efeitos há tanta Química, Física, História é tornar palpável essa ciência que parece tão incrustada dentro de sala de aula e nos livros didáticos, mas que na verdade, está tão perto de nós a todo tempo, e não só nos fogos de artifício, mas em tudo.

Utilizar o cotidiano como temática em sala de aula e colocar o aluno para vivenciar a ciência, através de experimentos, de atividades onde eles deem sua opinião, critiquem, se façam ativos propicia ao aluno uma assimilação do conteúdo estudado com a realidade, quebrando aquele paradigma de que a ciência só é feita em laboratórios por cientistas malucos e ainda mais, possibilitando a integração com diversas disciplinas, mostra a interligação entre as muitas áreas do conhecimento sendo direcionadas ao objetivo de educar e transformar os futuros, e por que não, os presentes cidadãos.

Para Saber Mais:

FERREIRA L. R. B. V.; DAVID M. A.; SILVA P. S., **Modelos e Representações do Átomo**. *Módulo Didático de Química Nº 13*, 2008. Disponível em: <crv.educacao.mg.gov.br/SISTEMA.../quimica/.../md-em-qu-23.pdf> Acesso em: 03 jul. 2012

MACHADO, S. P. e PINTO, A. C. A. **Química e a Arte da Pirotecnia**. *CIÊNCIA HOJE*, V. 48, p. 288, 2011.

Vasconcelos, F. C. G. C.; Silva, L. P.; Almeida, M. A. V., Um pouco da história dos explosivos: da pólvora ao Prêmio Nobel. In: XV Encontro Nacional de Ensino de Química, 2010, Brasília. **Um pouco da história dos explosivos: da pólvora ao Prêmio Nobel**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.xveneq2010.unb.br/resumos/R0011-1.pdf>> Acesso em: 14 maio 2012